

BUNDESR E PUBLIK DEUTSCHLAND

10/517742

PCT/DE03/01057 09 DEC 2004



REC'D 30 JUN 2003

WIPO PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

BEST AVAILABLE COPY

Aktenzeichen:

102 26 031.1

Anmeldetag:

12. Juni 2002

Anmelder/Inhaber:

Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung:Schaltregler, insbesondere Abwärtswandler, und
Schaltregelverfahren**IPC:**

H 02 M 3/137

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 15. April 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Agurks

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Schaltregler, insbesondere Abwärtswandler, und Schaltregelver-
5 fahren

STAND DER TECHNIK

10 Die vorliegende Erfindung betrifft einen Schaltregler, insbesondere einen Abwärtswandler, und ein Schaltregelverfahren.

Schaltregler (SR), wie beispielsweise Abwärtswandler (Buck Converter, Step down Converter), finden in vielen Applikationen, insbesondere zur Spannungsanpassung bzw. -reduzierung
15 z.B. in Schaltnetzteilen, Verwendung.

Die Spannungsregelung in Gleichspannungsversorgungsschaltungen (Netzteilen) erfolgt bei Schaltreglern im allgemeinen über eine Taktspannung, die am Steueranschluss eines Leistungstransistors angelegt wird. Im einfachsten Fall wird von der zu regelnden Gleichspannung (Regelgröße) im Regler eine Taktfrequenz entsprechend der Abweichung von der Führungsgröße (Regelabweichung) abgeleitet, die den Leistungstransistor taktet und damit, insbesondere nach Filterung in einem Tiefpass, die
20 geregelte Ausgangsgleichspannung ergibt.

Die offene Schleifenverstärkung eines Schaltreglers ergibt sich im Wesentlichen aus einer Verstärkung v_R eines Regelverstärkers, der Verstärkung V_{PWM} eines Pulsweiten-Modulators (PWM), dem Verhältnis k_{ist} eines Ist-Spannungsteilers der Ausgangsspannung im Rückführungszweig (feedback path) und der Verstärkung bzw. Dämpfung H_{TFLC} eines LC-Tiefpasses am Ausgang eines Leistungsverstärkers des Schaltreglers
30

($v = k_{ist} \times v_R \times V_{PWM} \times H_{TPLC}$).

Der Verstärkungsfaktor V_{PWM} des Pulsweiten-Modulators ergibt sich aus dem Quotienten einer Batteriespannung U_{BAT} (Eingangssignal) und einer Dreiecksspannung U_{OSZ} , welche dem Pulsweiten-Modulator zugeführt wird ($V_{PWM} = U_{BAT}/U_{OSZ}$), wobei die Dreiecksspannung U_{OSZ} zum Beispiel 1,25 V_{SS} beträgt.

Aufgrund der einzukalkulierenden großen Schwankungsbreite der Batteriespannung U_{BAT} von etwa 6V bis 40V bzw. evtl. sogar 60V, weist der Verstärkungsfaktor V_{PWM} des Pulsweiten-Modulators (PWM) einen relativ großen Dynamikbereich auf. Daraus folgt, dass die Gesamtverstärkung allein aufgrund der Batteriespannungs-Variationsbreite um den Faktor 10 (20dB) variiert, welches zu Stabilitätsproblemen des Gesamt-Regelkreises führen kann, oder aber bei einer in Bezug auf die größte Verstärkung entsprechend ausgelegte Reserve (Vorhalt) zu Regel-Genauigkeitsverlusten führen kann.

Batteriespannungs-Änderungen, insbesondere sprunghafte Batteriespannungs-Änderungen, werden im Rückführzweig (feedback-path) des Regelkreises eines Schaltreglers erst mit einer relativ großen Verzögerungszeit (delay time) identifiziert und erst nachfolgend ausgeglichen, welches in dynamischem Überschwingen der Ausgangsspannung resultiert. Ausschlaggebend für die Verzögerungszeit ist der LC-Tiefpaß (H_{TPLC}) mit einer Grenzfrequenz f_{GTP} von:

$$f_{GTP} = (1/2\pi) \times (1/(LC))^{0,5}$$

Ein übliches Verfahren zur Umgehung der oben genannten Probleme wird in M.R.BORGHI Smart Power ICs, Springer Verlag 1996 vorgestellt. Die Amplitude der dem Pulsweiten-Modulator zugeführten Dreiecksspannung U_{OSZ} wird in Abhängigkeit der Batteriespannung geregelt $U_{OSZ} = f(U_{BAT})$, wobei die Dreiecksspannung U_{OSZ}

zum Beispiel im Bereich zwischen 200mV und 2V liegt. Ein Nachteil ergibt sich bei relativ kleinen Amplituden der Dreiecksspannung U_{osz} in einem getakteten System auf Grund der Auflösungsgenauigkeit, welches kritisch ist. Außerdem ist die ebenfalls mit dem Begriff "Feedforward-Kompensation" bezeichnete Amplitudenmitführung relativ aufwendig in der Realisierung.

Ein weiteres übliches Verfahrens zur Umgehung der oben genannten Probleme wird durch eine Vorverzerrung der Dreiecksspannung U_{osz} erreicht, wobei die dem Pulsweiten-Modulator zugeführte Oszillatorspannung lediglich Dreieck-ähnlich ist und einen linear verlaufenden Abschnitt im Bereich der Spitzen des "Dreiecks" jedoch einen exponentiell verlaufenden Bereich aufweist, wobei kein Feedforward-Effekt erreicht wird, da der Oszillator nicht seine Spannungsamplitude verändert, insbesondere nicht in Abhängigkeit der Batteriespannung U_{BAT} , und somit keine direkte Kompensationsregelung eingreift (siehe auch MULLER RS, KAMINS TI (1986) Devices For Electronics Integrated Circuit, John Wiley & Sons).

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Schaltregler, insbesondere mit einer Feedforward-Kompensation, und ebenfalls ein Schaltregelverfahren bereitzustellen, welcher eine von einem Eingangssignal im Wesentlichen unabhängige Verstärkung aufweist.

VORTEILE DER ERFINDUNG

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch den in Anspruch 1 angegebenen Schaltregler und durch das Schaltregelverfahren nach Anspruch 12 gelöst.

Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Idee besteht darin, die Verstärkung v_R eines Regelverstärkers näherungsweise proportional der Batteriespannung zu führen.

- 5 In der vorliegenden Erfindung wird das eingangs erwähnte Problem insbesondere dadurch gelöst, dass eine Kompensationseinrichtung in Abhängigkeit der, insbesondere schwankenden, Eingangsspannung (zum Beispiel U_{BAT}) den Verstärkungsfaktor v_R steuert, so dass die Gesamtverstärkung des Schaltreglers im
- 10 Wesentlichen über der Batteriespannung U_{BAT} konstant bleibt.

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des jeweiligen Erfindungsgegenstandes.

- 15 Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung weist eine Verstärkereinrichtung einen mit Masse verbundenen komplexen Widerstand, insbesondere zum Einstellen einer Grundverstärkung und/oder einer Frequenzkompensation, auf.
- 20 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist eine Filtereinrichtung ein Tiefpass-Filter, insbesondere mit einer Spule und einer Kapazität, und einer dazu parallel geschalteten Diode auf.
- 25 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist das der Pulsweiten-Modulationseinrichtung zugeführte Oszillatorsignal eine Dreieckoszillatorspannung auf.
- Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung weist eine
- 30 Schalteinrichtung einen Transistor, insbesondere einen MOSFET, auf.

ZEICHNUNGEN

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigt:

Fig. 1 das Blockschaltbild eines Spaltreglers, insbesondere mit Feedforward-Kompensation, zur Erläuterung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSBEISPIELE

Fig. 1 zeigt das Blockschaltbild eines Schaltreglers, insbesondere mit einer Feedforward-Kompensation, zur Erläuterung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

In Fig. 1 wird ein Eingangssignal 1, insbesondere eine Batteriespannung U_{BAT} , einer Kompensationseinrichtung 2, insbesondere einer Feedforward-Kompensationsbaugruppe (FFK), zugeführt, welche in Abhängigkeit der Amplitude des Eingangssignals 1 ein Kompensationssignal 3, insbesondere einen Kompensationsstrom I_{FFK} , erzeugt.

Eine Verstärkungseinrichtung 7, insbesondere ein Regelverstärker RV bzw. Steilheitsverstärker, nimmt das Kompensationssignal 3 auf und verändert entsprechend dem Kompensationssignal 3 den Verstärkungsfaktor $6 v_R$ der Verstärkungseinrichtung 7.

Ein komplexer Widerstand 8 ist mit der Verstärkungseinrichtung 7 verbunden und dient im Wesentlichen der Einstellung der Grundverstärkung der Verstärkungseinrichtung 7 und/oder der Frequenzkompensation. Ein Referenzsignal 4, insbesondere eine

Referenzspannung U_{REF} und ein Istwert-Signal 5, insbesondere eine Ist-Spannung U_{IST} , werden der Verstärkungseinrichtung 7 ebenfalls zugeführt, um ein Verstärkersignal 23 zu erzeugen.

5 Ein Oszillatorsignal 9, insbesondere eine Dreiecksoszillatorspannung U_{OSZ} mit beliebiger, im Wesentlichen konstanter, Amplitude, wird ebenso wie das Verstärkersignal 23 einer Pulsweiten-Modulationseinrichtung 11, insbesondere einem Pulsweiten-Modulator (PWM), zugeführt, welcher ein mit einer Verstärkung 10 V_{PWM} behaftetes Pulsweiten-moduliertes Signal 22 erzeugt, das einer weiteren Verstärkungseinrichtung 12 der Verstärkung v_p zugeführt wird. In der Verstärkungseinrichtung 12, welche im Wesentlichen einer Leistungsanpassung zum Betätigen einer Schalteinrichtung 13 dient, wird ein Schaltsignal 21 generiert.

Die Schalteinrichtung 13, insbesondere ein MOSFET-Leistungsverstärker, schaltet das Eingangssignal 1 in Abhängigkeit des Schaltsignals 21 zu einer Filtereinrichtung 14 durch und erzeugt folglich ein gepulstes Signal 24, welches in der Filtereinrichtung 14 geglättet wird, die insbesondere ein Tiefpass-Filter mit einer seriellen Induktivität 15 und eine der Spule 15 nachgelagerte auf Masse geschaltete Kapazität 17 aufweist.

25 Eine Freilaufdiode 16, die u.a. auch zum Schutz der Filtereinrichtung 14 vor Überspannungen dient, ist parallel zur Filtereinrichtung 14 auf Masse geschaltet. Das gepulste Signal 24 wird in der Filtereinrichtung 14 zum Ausgangssignal 18, insbesondere einer Spannung, geglättet, welches über ein Widerstandsnetzwerk 19, insbesondere einen Spannungsteiler 19 mit der Verstärkung bzw. Aufteilung k_{ist} über eine Rückführung 20 (feedback path) der Verstärkungseinrichtung 7 zugeführt wird (Istwert-Signal 5).

Die Verstärkung v_R bzw. Steilheit S_R des Regelverstärkers 7 wird mit der Batteriespannung U_{BAT} (Eingangssignal 1) so nachgeführt, dass das Produkt $v_1 = (U_{BAT}/U_{OSZ}) \times v_R$ über der Batteriespannung konstant bleibt.

Die Dreieck-Oszillatorspannung U_{OSZ} kann beliebig gewählt werden, z.B. $U_{OSZ} = 1,25V$. Die gemäß der vorliegenden Erfindung in erster Näherung Batteriespannungs-unabhängige Schleifenverstärkung im Regelkreis eines Abwärtswandlers (Buck Converters) stellt eine Realisierung einer Feedforward-Kompensation dar, d.h. auf sprunghafte Änderung der Batteriespannung reagiert der Regelverstärker bzw. der Pulsweiten-Modulator sofort, ohne Verzögerungszeit des ausgangsseitigen Tiefpasses.

15

Der Realisierungsaufwand eines solchen Schaltreglers mit Feedforward-Kompensation ist bezüglich der erforderlichen Fläche und Kosten relativ klein.

20 Für die Verstärkung v_R des Regelverstärkers RV ergibt sich:

$$v_R = Z \times [1/(R \times k \times U_{BAT})],$$

wobei Z ein wählbarer externer komplexer Widerstand, insbesondere mit ohmschem und/oder kapazitivem Widerstand, darstellt.

Das Produkt aus der Steilheit S_R und dem komplexen Widerstand Z ist ebenfalls gleich der Verstärkung v_R des Regelverstärkers RV, wobei die Steilheit S_R der Quotient aus dem Kompensationsstrom I_{FFK} durch die Temperaturspannung U_T ist und der Kompensationsstrom I_{FFK} aus einer Ringstromquelle generiert werden kann, welcher die Gleichung $I_{FFK} = U_C/(R \times k \times U_{BAT})$ erfüllt, und R den $Tk0$ -Widerstand der Ringstromquelle darstellt und k ein Faktor zur Einstellung der Verstärkung v_R ist. Setzt man die oben genannten Gleichungen und die Gleichung $V_{PWM} = U_{BAT}/U_{OSZ}$ ineinander ein, so folgt das Produkt der beiden Verstärkungen

30

v_R und $V_{PWM} = v_1$ zu $v_1 = Z/(R \times k \times U_{osz})$, welches in erster Näherung unabhängig von der Batteriespannung ist und bei Batteriespannungssprüngen (dynamisch) ohne die Verzögerungszeit (delay time) des Ausgangs-Tiefpasses unverzüglich die Verstärkung korrigiert, so dass ein Überspringen der Ausgangsspannung V_{out} vermieden wird.

Obwohl die vorliegende Erfindung vorstehend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Art und Weise modifizierbar.

Obwohl im oberen Beispiel die Kompensationseinrichtung ein Stromsignal zur Steuerung des Verstärkungsfaktors der Verstärkungseinrichtung abgibt, ist auch eine andere Signalform (Spannungssignal, optisches Signal, ...) wie auch bei den anderen auftretenden Signalen vorstellbar. Eine unterschiedliche Oszillator-Ausgangssignalform ist ebenso vorstellbar wie eine abgeänderte Filtereinrichtung oder der Entfall der weiteren Verstärkungseinrichtung mit dem Verstärkungsfaktor v_p .

Auch ist die Erfindung nicht auf die genannten Anwendungsmöglichkeiten beschränkt.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

5 Schaltregler, insbesondere Abwärtswandler, und Schaltregelver-
fahren

PATENTANSPRÜCHE

- 10 1. Schaltregler, insbesondere Abwärtswandler, mit:
- einer Schalteinrichtung (13) zum Erzeugen eines gepulsten Signals (24) aus einem Eingangssignal (1) in Abhängigkeit von einem Schaltsignal (21);
- 15 einer Filtereinrichtung (14) zum Filtern des gepulsten Signals (24) und zum Ausgeben eines geglätteten Ausgangssignals (18);
- 20 einer steuerbaren Verstärkereinrichtung (7, 11, 12) zum Erzeugen des Schaltsignals (21) aus einem Referenzsignal (4) und einem über eine Rückführungseinrichtung (19, 20) aus dem Ausgangssignal (18) gewonnenen Istwertsignal (5) in Abhängigkeit von einem Kompensationssignal (3); und
- 25 einer Kompensationssignal- Erzeugungseinrichtung (2) zum Erzeugen des Kompensationssignals (3) aus dem Eingangssignal (1).
- 30 2. Schaltregler nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Verstärkereinrichtung (7) einen mit Masse verbundenen komplexen Widerstand (8), insbesondere zum Einstel-

len einer Grundverstärkung und / oder einer Frequenzkompensation, aufweist.

3. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Filtereinrichtung (14) einen Tiefpassfilter, insbesondere mit einer Spule (15) und einer Kapazität (17), aufweist.
4. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass parallel zur Filtereinrichtung (14) eine Diode, insbesondere zum Schutz derselben, geschaltet ist.
5. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass ein Widerstandsnetzwerk (19), insbesondere ein Spannungsteiler (19) aus im wesentlichen ohmschen Widerständen, über die Rückführung (20) mit der Verstärkungseinrichtung (7) verbunden ist.
6. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die steuerbare Verstärkereinrichtung (7, 11, 12) eine Pulsweitenmodulationseinrichtung (11) zum Erzeugen eines pulsweitenmodulierten Signals (22), insbesondere des Schaltsignals (21), aus einem Oszillatorsignal (9) und einem Verstärkersignal (23) aufweist.

7. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das der Pulsweitenmodulationseinrichtung (11) zugeführte Oszillatorsignal (9) einen dreiecksspannungsförmigen Verlauf aufweist.
8. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das von der Kompensations-signal- Erzeugungseinrichtung (2) erzeugte Kompensationssignal (3) ein Stromsignal ist.
9. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schalteinrichtung (13) einen Transistor, insbesondere einen MOSFET, aufweist.
10. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Eingangssignal (1) eine quasi-stationäre Batteriespannung ist.
11. Schaltregler nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Schaltung zwischen der Pulsweitenmodulationseinrichtung (11) und der Schalteinrichtung (13) eine weitere Verstärkungseinrichtung (12) aufweist.

12. Schaltregelverfahren mit den Schritten:

erzeugen eines Kompensationssignals (3) aus einem Eingangssignal (1) in einer Kompensationssignal- Erzeugungseinrichtung (2);

erzeugen eines Schaltsignals (21) aus einem Referenzsignal (4) und einem über eine Rückführungseinrichtung (19, 20) aus einem Ausgangssignal (18) gewonnenen Istwertsignal (5) in Abhängigkeit des Kompensationssignals (3) in einer steuerbaren Verstärkereinrichtung (7, 11, 12);

erzeugen eines gepulsten Signals (24) aus dem Eingangssignal (1) in Abhängigkeit des Schaltsignals (21) in einer Schalteinrichtung (13); und

filtern des gepulsten Signals (24) in einer Filtereinrichtung (14) und ausgeben eines geglätteten Ausgangssignals (18).

13. Verfahren nach Anspruch 12,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass ein Verstärkersignal (23) unter Zuhilfenahme eines an eine Verstärkereinrichtung (7) angeschlossenen komplexen Widerstandes (8) erzeugt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass das Ausgangssignal (18) über ein Widerstandsnetzwerk (19), insbesondere einen Spannungsteiler mit, insbesondere ohmschen, Widerständen, und der Rückführung (20) zur Verstärkereinrichtung (7) geführt wird.

15. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass in der steuerbaren Verstärkereinrichtung (7, 11, 12)
5 ein pulsweitenmoduliertes Signal (22), insbesondere das
Schaltsignal (21), aus einem Oszillatorsignal (9) und dem
Verstärkersignal (23) in einer Pulsweitenmodulationsein-
richtung (11) erzeugt wird.

10 16. Verfahren nach einem oder mehreren der vorangehenden An-
sprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das pulsweitenmodulierte Signal (22) in einer weite-
ren Verstärkungseinrichtung (12) verstärkt wird, bevor es
15 die Schalteinrichtung (13) ansteuert.

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Schaltregler, insbesondere Abwärtswandler, und Schaltregelver-
5 fahren

ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Erfindung stellt einen Schaltregler, insbeson-
10 dere einen Abwärtswandler, bereit mit: einer Schalteinrichtung
(13) zum Erzeugen eines gepulsten Signals (24) aus einem Ein-
gangssignal (1) in Abhängigkeit von einem Schaltsignal (21);
einer Filtereinrichtung (14) zum Filtern des gepulsten Signals
(24) und zum Ausgeben eines geglätteten Ausgangssignals (18);
15 einer steuerbaren Verstärkereinrichtung (7, 11, 12) zum Erzeu-
gen des Schaltsignals (21) aus einem Referenzsignal (4) und
einem über eine Rückführungseinrichtung (19, 20) aus dem Aus-
gangssignal (18) gewonnenen Istwertsignal (5) in Abhängigkeit
von einem Kompensationssignal (3); und einer Kompensationssi-
20 gnal- Erzeugungseinrichtung (2) zum Erzeugen des Kompensati-
onssignals (3) aus dem Eingangssignal (1). Die vorliegende Er-
findung stellt ebenfalls ein Schaltregelverfahren bereit.

Fig. 1

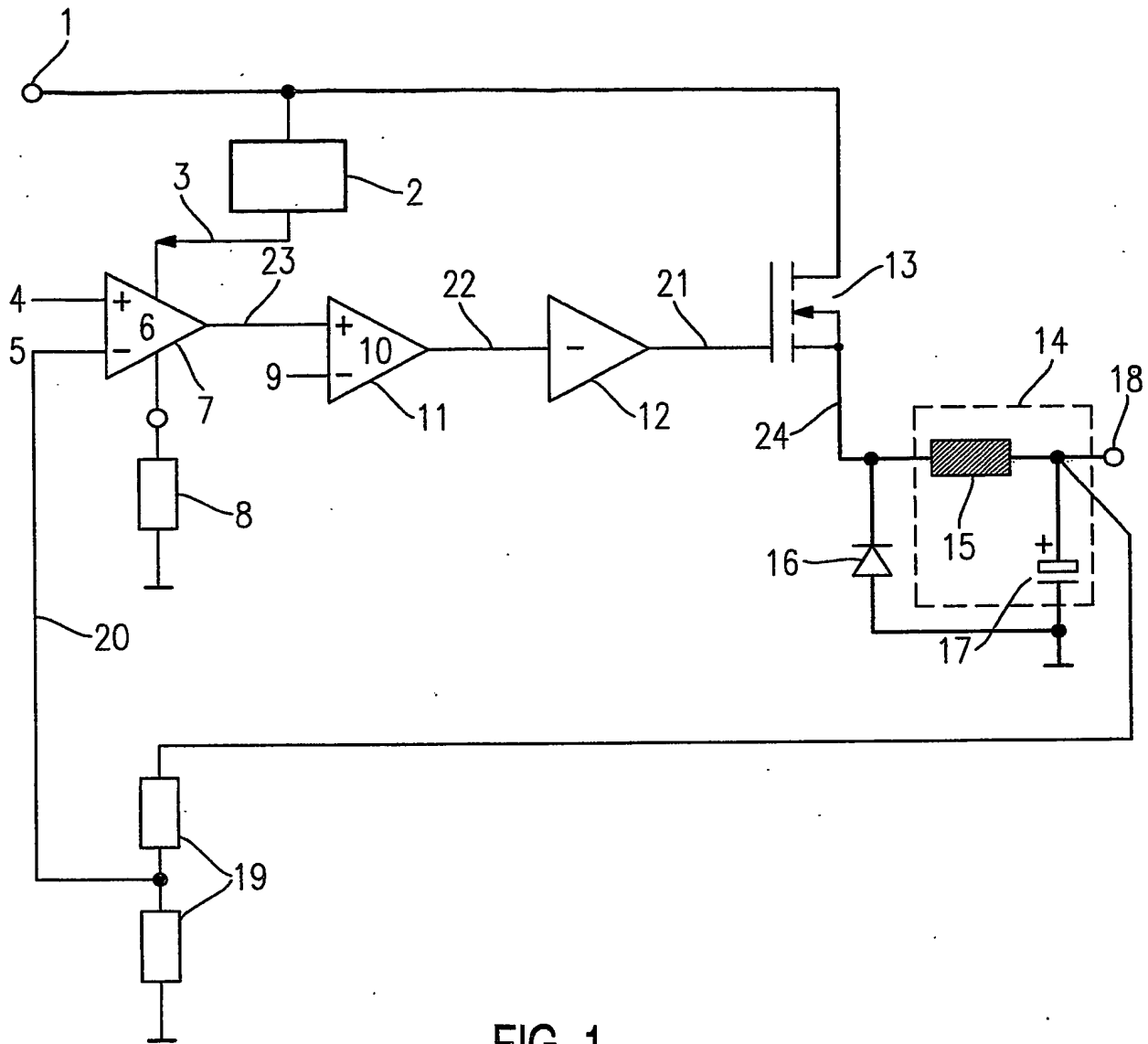


FIG. 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.